



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

## FLORE

# Repository istituzionale dell'Università degli Studi di Firenze

### **Un modello per la previsione dei cedimenti in una discarica per rifiuti urbani**

Questa è la Versione finale referata (Post print/Accepted manuscript) della seguente pubblicazione:

*Original Citation:*

Un modello per la previsione dei cedimenti in una discarica per rifiuti urbani / De Rulli G.; Facciorusso J.. - (2005), pp. 1-6. (Intervento presentato al convegno Incontro Annuale dei Ricercatori di Geotecnica tenutosi a Ancona (Italy) nel 29 giu- 1 lug 2005).

*Availability:*

This version is available at: 2158/839334 since:

*Publisher:*

Università degli Studi di Ancona

*Terms of use:*

Open Access

La pubblicazione è resa disponibile sotto le norme e i termini della licenza di deposito, secondo quanto stabilito dalla Policy per l'accesso aperto dell'Università degli Studi di Firenze (<https://www.sba.unifi.it/upload/policy-oa-2016-1.pdf>)

*Publisher copyright claim:*

(Article begins on next page)

## **UN MODELLO PER LA PREVISIONE DEI CEDIMENTI IN UNA DISCARICA PER RIFIUTI URBANI**

Gabriele De Rulli, Johann Facciorusso

*Dipartimento di Ingegneria Civile, Università degli Studi di Firenze*

*e-mail: [johannf@dicea.unifi.it](mailto:johannf@dicea.unifi.it), [gabrielederulli@yahoo.it](mailto:gabrielederulli@yahoo.it)*

### **Abstract**

Nella presente sintesi sono esposti i risultati dell'applicazione di un modello per la previsione dei cedimenti dei rifiuti urbani, tarato su misure reali di cedimenti di una discarica del Centro Italia e successivamente applicato ad una discarica di progetto per la stima del volume di abbancamento perduto.

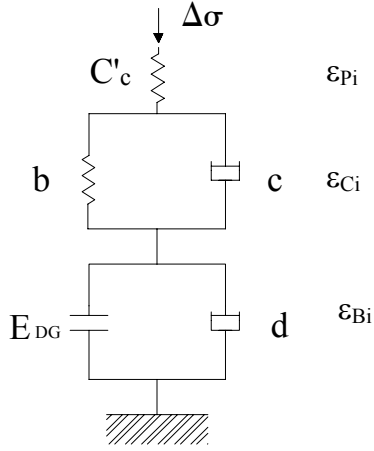
### **Introduzione**

La previsione della distribuzione nel tempo e nello spazio dei cedimenti assoluti e differenziali in una discarica controllata costituisce un elemento imprescindibile per garantire la funzionalità degli elementi strutturali della discarica, per assicurare la stabilità generale dell'opera e per consentire una corretta gestione dell'impianto anche da un punto di vista economico; infatti una corretta stima dei cedimenti del corpo rifiuti della discarica in fase progettuale consente di massimizzare la quantità di rifiuti abbancabili (a parità di volume di progetto) e quindi di ridurre i costi di smaltimento con benefici sia dal punto di vista economico che ambientale. I rifiuti, per loro composizione e struttura, hanno caratteristiche di compressibilità differenti rispetto agli altri materiali che però possono in qualche modo essere assimilate a quelle dei terreni. A differenza dei terreni inorganici un parametro che influenza in maniera sensibile la compressibilità dei rifiuti è la biodegradazione. Esistono in letteratura alcuni modelli che consentono la previsione nel tempo dei cedimenti dei rifiuti e si differenziano in base al tipo di legge costitutiva utilizzata ed ai parametri che li rappresentano. Un problema importante, nell'utilizzo di tali modelli, è la taratura dei parametri che tengono conto della locale natura e composizione dei rifiuti, e delle diverse condizioni climatiche che influenzano la biodegradazione. Nel presente lavoro viene tarato un modello monodimensionale (Moruzzi Marques et al., 2003) sulla base della merceologia e delle caratteristiche fisiche dei rifiuti di una discarica dell'Italia Centrale ove sono disponibili delle misure di cedimenti nel tempo. Infine, considerando una discarica di progetto, vengono stimati i cedimenti del corpo rifiuti.

### **Il modello di Moruzzi Marques et al. (2003)**

In generale non è possibile adottare per lo studio del comportamento dei rifiuti i modelli della meccanica dei terreni a causa di una serie di fattori che differenziano profondamente i due materiali (M. Grisolia et al. 1991): i rifiuti, infatti, presentano un'elevata e spesso imprevedibile eterogeneità nei materiali costituenti e una grande deformabilità degli ele-

menti solidi (variabile in funzione della loro natura), inoltre, possono subire con il tempo profonde trasformazioni fisiche e strutturali a causa dei processi di biodegradazione. Uno dei modelli ritenuti più completi ed affidabili per stimare l'andamento dei cedimenti a lungo termine dei rifiuti, è un modello composito (fig. 1), messo a punto sulla base di



studi, misure in sito e prove di compressione in laboratorio eseguite nella discarica Bandeirantes presso San Paolo in Brasile in un arco temporale di tre anni. Posto N il numero degli strati presenti nella discarica di altezza  $\Delta H_i$ , il valore totale del cedimento  $S(t)$  al tempo  $t$  della discarica è:

$$S(t) = \sum_{i=1}^N \Delta H_i \cdot \varepsilon_i = \sum_{i=1}^N \Delta H_i [\varepsilon_{Pi} + \varepsilon_{Ci}(t) + \varepsilon_{Bi}(t)] \quad (1)$$

ove la deformazione verticale ( $\varepsilon_i$ ) di un generico strato di rifiuto è il risultato di tre differenti meccanismi di deformazione cioè di compressione istantanea ( $\varepsilon_{Pi}$ ) e di creep ( $\varepsilon_{Ci}$ ), dovute al peso proprio e al peso degli strati sovrastanti, e di biodegradazione ( $\varepsilon_{Bi}$ ), i quali valgono rispettivamente:

Figura 1. Modello di compressibilità composita per i rifiuti urbani

$$\varepsilon_{Pi} = C'_c \cdot \log \left( \frac{\frac{1}{2} \gamma_i \cdot \Delta H_i + \sum_{j=i+1}^N \Delta \sigma_{i,j}}{\frac{1}{2} \gamma_i \cdot \Delta H_i} \right), \quad \varepsilon_{Ci}(t) = b \cdot \left[ \frac{1}{2} \gamma_i \cdot \Delta H_i \cdot (1 - e^{-c(t-t_i)}) + \sum_{j=i+1}^N \Delta \sigma_{i,j} (1 - e^{-c(t-t_j)}) \right]$$

$$\varepsilon_{Bi}(t) = E_{DG} \cdot (1 - e^{-d(t-t_i)}) \quad (2)$$

dove  $\gamma_i$  [kN/m<sup>3</sup>] è il peso di volume dei rifiuti,  $\Delta \sigma_{i,j}$  [kN/m<sup>2</sup>] è l'incremento di sforzo verticale imposto dallo strato  $j$  allo strato  $i$  per  $j > i$ , e  $t_i$ ,  $t_j$  [s] sono i tempi rispettivamente dall'abbancamento dello strato  $i$  e dall'abbancamento dello strato  $j$ ,  $C'_c$  è il rapporto di compressione dei rifiuti (eventualmente variabile con la profondità),  $b$  [m<sup>2</sup>/kN] è il coefficiente per il creep,  $c$  [gg<sup>-1</sup>] è la costante per il creep,  $E_{DG}$  indica la quantità totale di deformazione dovuta alla biodegradazione,  $d$  [gg<sup>-1</sup>] è la costante per la biodegradazione.

### Modifiche al modello ed applicazione ad una discarica di progetto

Il modello di Moruzzi Marques et al. (2003) è stato modificato sulla base dei dati disponibili relativi ad una discarica del Centro Italia utilizzata e monitorata per circa due anni: i) è stata considerata, a chiusura di ogni singolo strato di rifiuto di spessore 1 m, la presenza di uno strato copertura giornaliera di natura argillosa di spessore 0.1 m, il cui cedimento è stato quantificato col modello monodimensionale di Terzaghi ed aggiunto all'equazione (1); ii) si è tenuto conto della differente composizione merceologica dei

rifiuti e delle differenti condizioni climatiche (che influiscono specialmente sul processo di biodegradazione) ritardando con una regressione lineare ai minimi quadrati alcuni parametri del modello ( $\gamma$ ,  $C_c$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  e  $E_{DG}$  dell'Eq. (1)) sulla base delle misure dei cedimenti reali effettuate su tre differenti sezioni in un periodo di 18 mesi. In fig. 2 sono riportati i valori dei cedimenti misurati lungo le tre sezioni nell'arco di tempo analizzato, confrontati con quelli stimati secondo il modello di partenza e quello modificato.

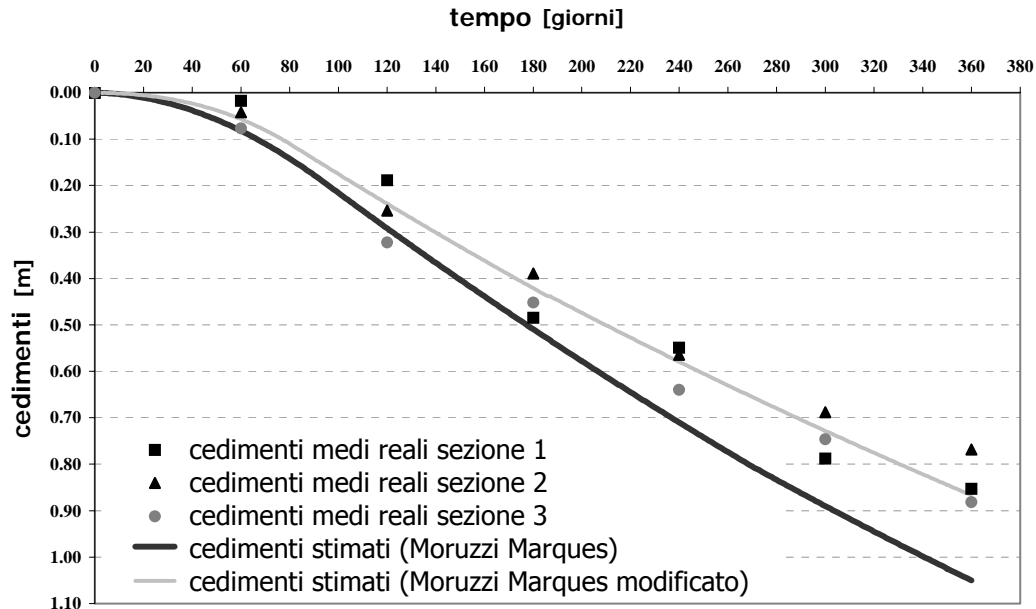


Figura 2 – Confronto tra i valori dei cedimenti misurati e quelli stimati secondo il modello di Moruzzi Marques e il modello di Moruzzi Marques modificato.

La discarica di progetto è stata dimensionata per smaltire al suo interno rifiuti urbani, per un utilizzo corrispondente a 150000 abitanti equivalenti (500 kg/anno di rifiuti ad abitante), e un tempo di vita di circa 8.5 anni. La merceologia per cui è stata progettata è la medesima di quella su cui è stato definito il modello di Moruzzi Marques modificato. La volumetria totale della discarica è di circa un milione di  $m^3$ . La forma e la geometria sono riportate in fig. 3 e il terreno di fondazione si ipotizza roccioso. Le modalità di abbancamento sono state scelte in modo da ridurre al minimo eventuali cedimenti differenziali. La discarica è stata suddivisa in otto lotti (figura 3a) ed ogni lotto è stato suddiviso in 325 celle, ogni cella rappresenta il quantitativo di rifiuti abbancato giornalmente (ad una densità media di  $0,92 \text{ t/m}^3$ ). Ciascuna cella comprende 1 m di rifiuti e 10 cm di copertura giornaliera. La successione con cui vengono realizzate le celle è indicata in Figura 3b. L'impianto raggiunge, in corrispondenza della colonna più alta, un'altezza complessiva di 30 m (corrispondente a 25 strati). Applicando il modello di Moruzzi Marques modificato si è verificato che i valori dei cedimenti assoluti finali sono abbastanza uniformi all'interno di ciascun lotto ed i valori medi del cedimento stimato finale relativo a tutti i lotti sono confrontabili (da un minimo di 5.26 m per l'8° lotto ad un massimo di 5.76 m per il 1° lotto), mentre, come previsto, l'entità dei cedimenti differenziali è contenuta (con un massimo di 0.136 m). Il volume di abbancamento complessivamente perduto è di  $173.893 \text{ m}^3$ , corrispondente al 17.6% del volume totale di progetto.

Applicando una procedura iterativa si è cercato il numero di strati che è possibile porre in opera rispettando, una volta esauriti i cedimenti, la quota massima di progetto (30 m), con un guadagno in termini di numero di strati, di volume di materiale abbancato e di anni di vita della discarica, riassunti in Tabella 1. In fig. 4 è riportato una sezione della discarica ed il confronto tra il profilo della discarica di progetto e quello effettivo conseguente ai cedimenti stimati per la soluzione iniziale (25 strati) e quella che sfrutta l'intero volume disponibile (35 strati).

Tabella 1 – Confronto tra le due soluzioni di abbancamento considerate

<i>Numero strati</i>	25	35
<i>Volume [m<sup>3</sup>]</i>	812500	1145000
<i>Peso [t]</i>	747500	1053400
<i>Vita [anni]</i>	8.7	12.2
<i>Numero celle</i>	2600	3664

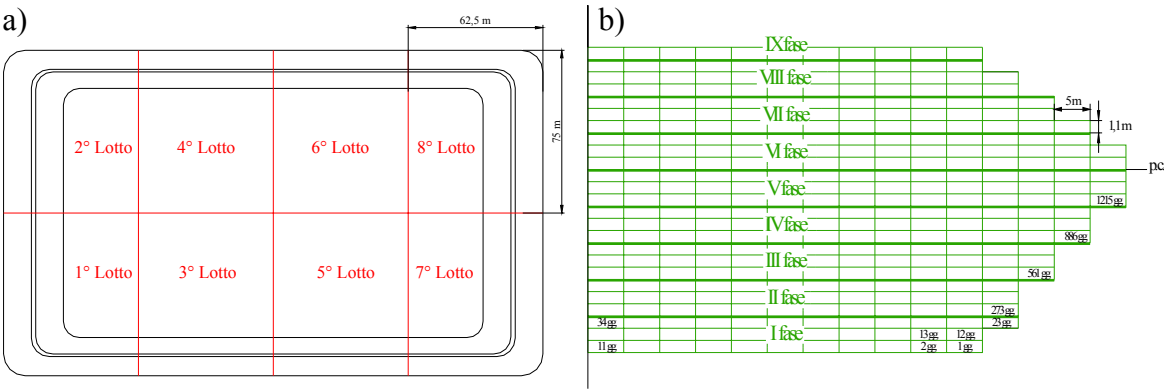


Figura 3 – Vista in pianta (a) e in prospettiva (b) della discarica di progetto e successione di abbancamento delle singole celle



Figura 4 – Confronto tra il profilo di progetto e il profilo stimato, una volta esauriti i cedimenti, nell'ipotesi di abbancamento a 25 strati e a 35 strati.

### Bibliografia

Grisolia M., Napoleoni Q., Sirini P., and Tancredi G., (1991), "Geotechnical behaviour of sanitary landfill based on laboratory and in situ test", *Journal of Resource Management and technology*, Philadelphia

Moruzzi Marques A. C., Filz G. M., Vilar O. M., (2003)., "Composite Compressibility Model for Municipal Solid Waste", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 129(4): 372-378.